

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
ÚSTAV PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Ekologie a ochrana prostředí

Ochrana životního prostředí



Vliv složení energetického mixu ČR na environmentální dopady  
nakládání s odpady

The influence of energy mix on environmental impacts of waste management

Bakalářská práce

Autor práce: Veronika Dočekalová

Vedoucí práce: doc., Ing. Vladimír Kočí, Ph.D.

Praha 2012



## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému školiteli doc., Ing. Vladimíru Kočímu, Ph.D. za seznámení s metodikou LCA, za pomoc s výpočty použitými v této práci a za poskytnutí souvisejících dat.

## Prohlášení

Svým podpisem stvrzuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně za odborného dohledu vedoucího práce a s použitím literatury řádně ocitované ve zdrojích literatury.

Předložená tištěná verze je totožná s elektronickou verzí bakalářské práce, která byla vložena do informačního systému.

V Praze 20. srpna 2012

Veronika Dočekalová

# **VLIV SLOŽENÍ ENERGETICKÉHO MIXU ČR NA ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY NAKLÁDÁNÍ S ODPADY**

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá složením českého energetického mixu a jeho účinky na environmentální dopady nakládání s odpady. Tři technologie: skládkování bez využití energie a skládkování a spalování s využitím energie jsou posuzovány metodou LCA. Výsledky vztažené k 1 t směsného komunálního odpadu jsou porovnávány v 9 kategoriích dopadu: úbytek zdrojů, acidifikace, eutrofizace, globální klimatická změna, ztenčování ozonové vrstvy, vznik fotooxidantů, humánní toxicita, terestrická ekotoxicita a sladkovodní ekotoxicita. Jako největší zátěž pro životní prostředí bylo vyhodnoceno skládkování bez využití energie, jako nejmenší spalování. Použití energetického mixu ČR se nepříznivě projevilo u dopadů skládek bez kogenerace, naopak do lepšího světla postavilo skládkování a spalování s energetickým využitím. Vlivy změn složení mixu jsou také zkoumány.

*Klíčová slova: LCA, posuzování životního cyklu, energetický mix, směsný komunální odpad, skládkování, spalování*

## **THE INFLUENCE OF ENERGY MIX ON ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WASTE MANAGEMENT**

### **Abstract**

This paper presents energy mix of Czech Republic and its effects on environmental impacts of waste management. Three technologies: landfilling without energy recovery and landfilling and incineration with energy recovery are assessed using LCA. Results for 1 t of mixed municipal waste are compared in 9 impact categories: abiotic depletion, acidification, eutrophication, global warming, ozone layer depletion, photochemical ozone creation, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, freshwater ecotoxicity. Landfilling without energy recovery was evaluated as the most harmful technology to the environment, incineration as the most environmentally-friendly one. The use of Czech energy mix made impacts of the energy recovery technologies look lower, contrary to burdens of landfill without energy recovery that resulted higher. The influence of energy mix composition change is discussed further.

*Keywords: LCA, Life Cycle Assessment, energy mix, mixed municipal waste, landfilling, incineration*

# Obsah

Seznam zkratk.....	1
1. Úvod.....	2
2. Nakládání s odpady.....	3
2.1 Nakládání se SKO v Evropě.....	3
2.2 Nakládání se SKO v České republice.....	4
2.3 Environmentální dopady nakládání s odpady.....	5
2.3.1 Princip metody LCA.....	5
2.3.2 Proces tvorby LCA.....	6
2.3.3 LCA a odpady.....	7
3. Energetika.....	8
3.1 Energetická situace v ČR.....	8
3.2 Energetický mix ČR.....	8
3.2.1 Uhlíková energie.....	10
3.2.2 Jaderná energie.....	10
3.2.3 Vodní energie.....	10
3.2.4 Větrná energie.....	11
3.2.5 Solární energie.....	11
3.2.6 Biomasa, bioplyn.....	11
3.3 Chytrá energie.....	12
3.4 LCA a energetika.....	12
4. Vlastní studie.....	14
4.1 Porovnání technologií.....	14
4.2 Energetické mixy.....	16
4.3 Výsledky.....	17
4.3.1 Technologie nakládání s odpady.....	17
4.3.1.1 Inventarizační analýza.....	17
4.3.1.2 Charakterizace.....	19
4.3.2 Vliv energetického mixu.....	21
4.3.2.1 Skládka bez kogenerace.....	21
4.3.2.2 Skládka s kogenerací.....	22
4.3.2.3 Spalovna s kogenerací.....	23
4.3.2.4 Shrnutí.....	23
4.4 Diskuze.....	25
5. Závěr.....	28
6. Zdroje.....	29

## Seznam zkratek

CML	charakterizační metoda LCIA Institutu environmentálních věd v Leidenu
GWP	„Global-warming Potential“, potenciál globálního oteplování
LCA	„Life Cycle Assessment“, posuzování životního cyklu
LCI	„Life Cycle Inventory“, inventarizační analýza
LCIA	„Life Cycle Impact Assessment“, posuzování dopadu

ČSÚ	Český statistický úřad
ERÚ	Energetický regulační úřad
ISO	„International Organisation for Standardisation“
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí

ČOV	čistička odpadních vod
JE	jaderná elektrárna
KGE	kogenerace
MVE	malá vodní elektrárna, do 10MW instalovaného výkonu
OZE	obnovitelné zdroje energie
SKO	směsný komunální odpad
VVE	velká vodní elektrárna, nad 10MW instalovaného výkonu
ZEVO	zařízení pro energetické využití odpadu

EU-27: Belgie, Bulharsko, Česká republika, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Irsko, Itálie, Kypr, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Maďarsko, Malta, Německo, Nizozemí, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Řecko, Slovensko, Slovinsko, Španělsko, Švédsko, Velká Británie

CEZ2010, CZ, EKO, MPO2030, MZP2020, SWE: energetické mixy (viz kapitola 4.2)

# 1. Úvod

Energie je zahrnuta v životním cyklu každého produktu (např. Udo de Haes & Heijungs, 2007). Technologie získávání elektrické energie závisí velkou měrou na lokálních podmínkách. Zatímco v jedné zemi může být získávána převážně environmentálně šetrným způsobem, v jiné zemi podmínky pro tento postup být nemusí. Proto i stejný produkt, spotřebovávající během svého životního cyklu stejné množství energie, může mít na různých místech více či méně škodlivé dopady. V dnešní době navíc dochází na poli energetiky k velkým změnám. Vznikají různé prognózy o zásobách fosilních paliv a termínech jejich vyčerpání, diskutuje se problematika surovinové závislosti a její politické následky, stejně jako vlivy spalování fosilních paliv na životní prostředí. V některých zemích se vlivem nedávných událostí v Japonsku řeší bezpečnost výroby energie v jaderných elektrárnách. V návaznosti na to se do popředí zájmu dostávají nové koncepty získávání energie, a to energie z obnovitelných zdrojů. Celkově tak dochází k proměnám energetického mixu v čase i v jednotlivých zemích. Česká republika, i když ne tak radikálně jako třeba Německo, také chystá změny ve složení svého energetického mixu (MPO, 2012).

V důsledku těchto faktů vyvstává otázka, zda se změny využívání energie z různých zdrojů podepíší na výsledcích studií Life Cycle Assessment. LCA se stává důležitou pomůckou při zjišťování environmentálních dopadů produktů za dobu jejich životního cyklu. Stále vznikají nové studie, které právě tento nástroj využívají.

Účelem této práce je zjistit, jaký vliv má na výsledky LCA složení českého energetického mixu a do jaké míry se může projevit vývoj jeho složení. Jako předmět studie LCA byly zvoleny 3 technologie nakládání s odpady, na nichž budou zjištěny prezentovány. První je skládkování se spalováním skládkového plynu na flérách, jakožto produkt spotřebovávající energii. Druhé je skládkování s využitím skládkového plynu pro kogeneraci, které je energeticky soběstačné a vzniklou energii ještě distribuuje. Poslední je přímé energetické využití odpadu formou jeho spalování ve speciálním zařízení (spalovna odpadu), při němž vzniká nejvíce elektrické energie.

V první části práce jsou analyzována statistická data týkající se nakládání s odpady a energetické situace v České republice a je představena metoda LCA. Druhá část se věnuje porovnání technologií metodou LCA a konfrontaci výsledků při použití různých energetických mixů.

Vzhledem k zaměření práce je energetickým mixem v celém rozsahu práce myšlen mix pro výrobu elektrické energie.

## 2. Nakládání s odpady

### 2.1 Nakládání se SKO v Evropě

Ačkoliv komunální odpad tvoří pouze 10 % z celkového množství odpadu, je na něj kladen velký důraz kvůli jeho heterogenitě a vazbě na trh (Blumenthal, 2011).

Z environmentálního hlediska existuje hierarchie různých způsobů nakládání s odpady. Od nejvíce žádoucího opětovného využití produktu, přes recyklaci materiálu, spalování s využitím energie, dále přechází ke spalování bez využití energie a konečně k nejméně preferované možnosti, kterou je skládkování. Kterákoliv varianta na nižší úrovni této stupnice by měla být provedena pouze v případě, že varianty preferovanější nejsou dle našich dosavadních poznatků proveditelné. Skládkování bylo dříve nejrozšířenějším způsobem a stále je významnou částí odpadového hospodářství komunálního odpadu. V mnoha zemích však již dochází k úpravám legislativy v rámci výše zmíněné strategie, které mají za cíl omezit a usměrnit typ a množství skládkovaného odpadu v prospěch ostatních forem zpracování odpadu (Kuraš, 2011; Udo de Haes & Heijungs, 2007). Tento trend potvrzují i data v tab. 1. Zatímco celkové množství SKO mírně osciluje okolo hodnoty 500 kg/obyvatele, podíl skládkovaného odpadu se snižuje na rozdíl od všech ostatních možností.

Tab. 1: Vývoj nakládání se SKO v kilogramech na obyvatele pro roky 2001 až 2009 v EU27

Zdroj dat: Blumenthal, 2011

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Skládkování</b>	278	269	254	239	221	219	213	201	191
<b>Spalování</b>	81	85	84	89	95	99	100	99	101
<b>Recyklace</b>	83	95	97	100	105	109	116	118	118
<b>Kompostování</b>	58	65	69	74	78	82	85	88	89
<b>Celkem</b>	500	514	504	502	499	509	514	506	499

Mezi jednotlivými členskými státy EU existují velké rozdíly v dodržování environmentální hierarchie nakládání s odpady. Od roku 2000 bylo v několika státech zakázáno ukládání SKO na skládky úplně (Nizozemí), v jiných bylo povoleno pouze po předchozí úpravě odpadu (Německo, Rakousko) a ve Švédsku a Dánsku nesmí být na skládku uloženy organické složky odpadu. Tyto země mají spolu se Švýcarskem a Belgií nejnižší množství skládkovaného odpadu. Spalování odpadu vévodí Švýcarsko, Švédsko a Dánsko (téměř 50 %), naopak bez spaloven odpadů jsou státy jako Kypr, Litva, Lotyšsko a Bulharsko, kde se téměř veškerý nebo veškerý odpad stále skládá. Nejvyšší procenta zrecyklovaného odpadu připadají na Německo,



Švédsko a Belgie, kompostování na Rakousko a Nizozemí (Blumenthal, 2011). Tyto a některé další hodnoty jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Procentuální zastoupení způsobů nakládání se SKO pro vybrané státy EU v roce 2009

Zdroj dat: Blumenthal, 2011

	<b>skládkování</b>	<b>spalování</b>	<b>recyklace</b>	<b>Kompostování</b>
<b>Německo</b>	1	33	48	18
<b>Švédsko</b>	2	49	36	13
<b>Francie</b>	32	34	18	16
<b>UK</b>	50	11	25	14
<b>Maďarsko</b>	75	9	14	2
<b>Bulharsko</b>	100	0	0	0

V podstatě lze tedy říci, že státy západní Evropy mají rozvinutější a šetrnější odpadové hospodářství než státy východní Evropy. Opačně je tomu v množství vyprodukovaného odpadu, přední posty totiž zaujímají Dánsko (přes 800 kg SKO/ob), Švýcarsko (700 kg SKO/ob), Nizozemí a Německo (kolem 600 kg SKO/ob). Většina středoevropských a východoevropských zemí se pohybuje v rozpětí 300-450 kg SKO/ob. Ale i některé státy bez rozvinutého odpadového hospodářství produkují více než 600 kg SKO/ob, např. Irsko a Kypr (Blumenthal, 2011).

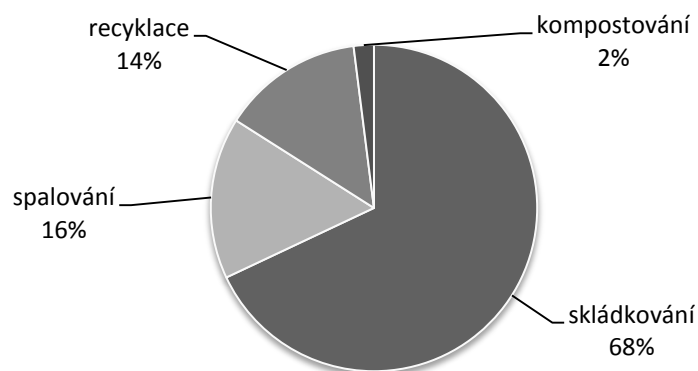
## 2.2 Nakládání se SKO v České republice

V České republice funguje integrovaný systém nakládání s odpady, který se vyznačuje zohledněním nejen environmentální, ale také ekonomické podstaty nakládání s odpady. Vybrané složky odpadů jsou recyklovány (např. papír, sklo, plast), zatímco s ostatními je nakládáno jinak, protože jejich oddělený sběr by nebyl výhodný.

Celkové množství SKO vyprodukovaného na území ČR má mírně vzestupný trend. Pro rok 2010 platí hodnota 317 kg SKO na obyvatele (ČSÚ, 2011a). V rámci Evropy patříme k původcům nejmenšího množství odpadu v přepočtu na obyvatele.

V otázce skládkování vs. spalování je odpadové hospodářství v České republice prozatím směřováno ve prospěch skládkování. Více než 2/3 komunálního odpadu jsou takto uloženy. Druhým nejrozšířenějším způsobem je spalování se 16 % a recyklováno bylo v roce 2010 přibližně 14 % smíšeného komunálního odpadu (obr. 1).

V souladu s požadavky Evropské unie dochází ke zvyšování poplatků za ukládání odpadů na skládky a do budoucna se počítá s rozvojem spalovacích technologií. Moderní spalovny, tzv. ZEVO (zařízení na energetické využití odpadu), jsou v ČR v Praze, Brně a Liberci a další jsou ve fázi projektování, např. ZEVO Chotíkov v západních Čechách.



Obr. 1: Způsoby nakládání s komunálními odpady v ČR v roce 2010

Zdroj dat: ČSÚ, 2011a

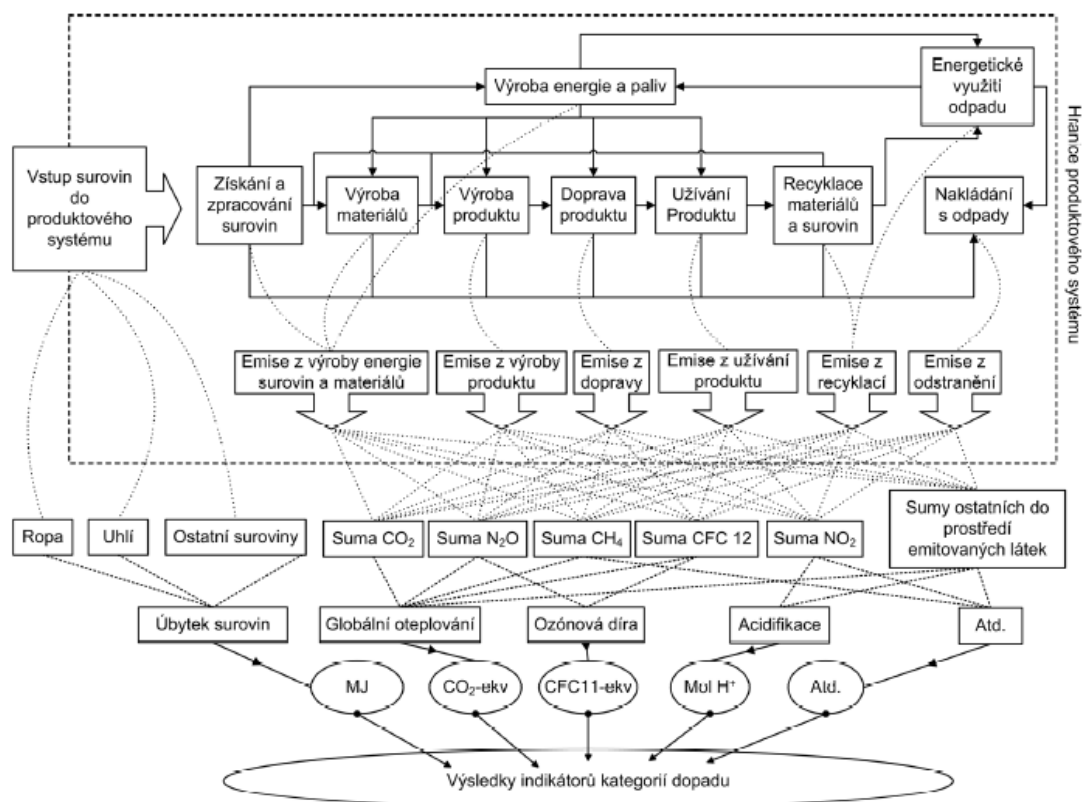
## 2.3 Environmentální dopady nakládání s odpady

### 2.3.1 Princip metody LCA

Life Cycle Assessment (LCA), českým ekvivalentem posuzování životního cyklu, je poměrně nová metoda pro zhodnocování dopadu, které mají různé výrobky, technologie a služby (dále jen „produkty“) na životní prostředí. Vzhledem k současnému trendu podpory šetrných technologií a udržitelného rozvoje, zhodnocuje LCA produkty tzv. od kolébky do hrobu, tedy po celý jejich životní cyklus. Ten v sobě zahrnuje kromě běžně evidované fáze užívání produktu spotřebitelem další fáze, a to získání surovin pro výrobu materiálů, výrobu produktu z těchto materiálů, transport a konečné odstranění produktu. Každá z těchto fází přitom ovlivňuje životní prostředí jiným způsobem a jinou měrou. Zatímco některý produkt může mít minimální dopady při své výrobě, během provozu může zatěžovat prostředí výrazně, např. vysokotlaké čističe (Caspersen & Sørensen, 1998). Naopak další může být neškodný během užívání, ale výroba a odstranění jsou náročné a problematické, např. PVC (Udo de Haes & Heijungs, 2007). Z tohoto důvodu je LCA vhodný prostředek, jak objektivně zhodnotit, a případně se pokusit minimalizovat, nežádoucí environmentální dopady produktů (Kočí, 2010).

Inventarizační profil tvoří součet všech emisí ze všech fází životního cyklu produktu, převedených na sumy hmotnostních toků emisí a jejich vztažení na jednotku produktu. Ten je dále vyhodnocován prostřednictvím jednotlivých kategorií dopadu, kterými jsou konkrétní problémy v oblasti životního prostředí, způsobené či zesílené antropogenní činností. Pro příklad je to globální klimatická změna (globální oteplování), acidifikace, eutrofizace, ekotoxická, úbytek surovin aj. (obr. 2). Veličiny popisující kategorie dopadu se nazývají indikátory kategorie

dopadu. Díky nim můžeme vyhodnotit, jakou měrou se produkt účastní rozvoje jednotlivých kategorií dopadu. Emise skleníkových plynů pro kategorii dopadu globální klimatická změna je vyjádřen jednotkou CO<sub>2</sub>-ekv, neboli CO<sub>2</sub> ekvivalent. Emise látek způsobujících ztenčování ozonové vrstvy pro kategorii dopadu úbytek stratosférického ozonu charakterizuje ekvivalent freonu CFC11 a podobně je tomu i u ostatních. Výjimku tvoří kategorie dopadu úbytek surovin, která může být vyjádřena buď jako ekvivalent Sb, nebo jako množství energie v MJ definující vzrůst energetické náročnosti těžby dané suroviny v budoucnosti (Kočí, 2010).



Obr. 2: Zjednodušené schéma LCA metodiky (Kočí, 2010)

### 2.3.2 Proces tvorby LCA

Proces tvorby LCA studie je dán mezinárodními normami ISO 14040 a má 4 fáze:

- 1) definice cílů a rozsahu
- 2) inventarizační analýza
- 3) posuzování dopadu
- 4) interpretace výsledků

V první fázi je stanoven účel studie, jsou vymezeny hranice systému a požadavky na kvalitu dat a především je určena funkční jednotka (tzn. konkrétně daná jednotka pro produkty se stejnou funkcí, ke které se vztahují výsledky). Inventarizační analýza, LCI (z anglického Life Cycle Inventory), spočívá ve sběru dat k přesnému popisu materiálového složení produktu a postupu výrobních procesů a jejich vstupů a výstupů. Posuzování dopadu, LCIA (Life Cycle Impact Assessment), se skládá z výběru kategorie dopadu a jeho indikátoru, klasifikace neboli rozřídění vlivů do jednotlivých kategorií dopadu, charakterizace, která kvantitativně popisuje celkový dopad, a vyhodnocení jako profilu LCIA. Celkové výsledky a jejich kritické zhodnocení jsou poslední fází při tvorbě LCA studie (International Organization for Standardization, 2006)

Mimo účel studie stojí ekonomické a společenské aspekty, které jsou ale mnohdy pro posouzení vhodnosti daného produktu také nutností (např. Jeswani et al., 2010).

### **2.3.3 LCA a odpady**

Použití metody LCA na problematiku odpadů se může zdát nesmyslné, protože odstranění v podobě odpadu je pouze částí životního cyklu každého produktu a nesplňuje tedy základní podmínku, posuzování během celého životního cyklu. Jak ale bylo zmíněno na začátku, produktem, jehož zátěž zkoumáme, může být i služba. Proto můžeme na celý systém technologie odstranění odpadu nahlížet jako na službu a její dopad zhodnotit (Kočí & Trecáková, 2011; Wittmaier et al., 2009). Díky tomu existuje již mnoho prací, které se právě různými koncepty nakládání s odpady z pohledu LCA zabývají a ověřují správnost používané „hierarchie odpadů“.

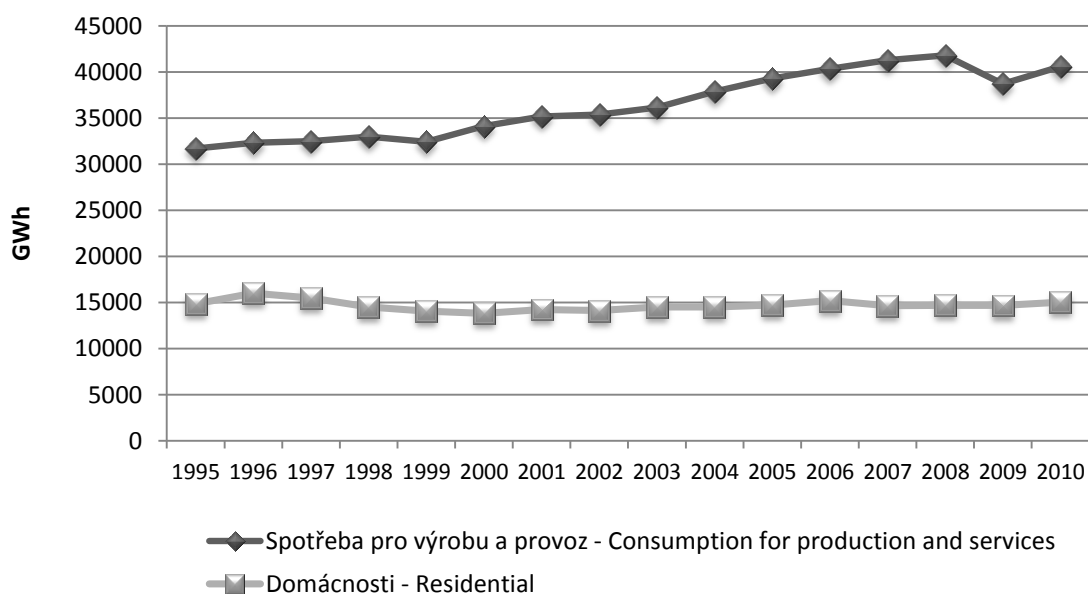
Cleary (2009) provedl srovnávací analýzu LCA prací týkajících se nakládání s komunálním odpadem. U celkem 20 prací, publikovaných mezi lety 2002 a 2008, porovnával metodické postupy a předpoklady a statisticky vyhodnocoval nejřešenější kategorie dopadu – globální oteplování, acidifikaci a spotřebu energie. Přestože možnost porovnání byla u mnoha prací ztížena nejasnými definicemi hranic systému, neodhalil autor rozdíly v preferencích při volbě systému nakládání s odpady. Všechny studie potvrzovaly platnost hierarchie navzdory odlišným metodikám.

### 3. Energetika

#### 3.1 Energetická situace v ČR

Konečná tuzemská spotřeba elektřiny (tzn. vyjma spotřeby v energetických pochodech, např. těžba a úprava paliv, přečerpávání apod.) vzrostla v letech 2000 až 2008 z 47958 GWh na 56523 GWh. V roce 2009 se snížila na 53424 GWh. Během roku 2010 se hodnoty opět vrátily nad hranici 55000 GWh (ČSÚ, 2011b). Největší měrou se na spotřebě podílí průmysl se 39,9 % a je následován domácnostmi s 27 %. Doprava zaujímá 3,9 %, zemědělství a lesnictví 1,9 %, stavebnictví 0,6 %. Zbýlých 26,7 % připadá na ostatní odvětví výroby (ČSÚ, 2012). Česká republika je také významným evropským vývozcem energie, ročně do zahraničí exportuje přes 20 tisíc GWh elektrické energie (ČSÚ, 2012).

Na obr. 3 můžeme vidět, že spotřeba domácností zůstává již několik let stabilní a změny celkové spotřeby udává dynamika výrobního sektoru, kde dochází k výkyvům souvisejícím s ekonomickou situací resp. krizí v roce 2009.



Obr. 3: Konečná spotřeba elektřiny v ČR v letech 1995 až 2010 (ČSÚ, 2011b)

#### 3.2 Energetický mix ČR

Současný energetický mix se odvíjí především od geografických podmínek státu, ale závisí i na politických a ekonomických strategiích. Podle dat Českého statistického úřadu bylo 62,8 % elektřiny v roce 2009 vyrobeno v tepelných elektrárnách, 33 % v jaderných elektrárnách a z obnovitelných zdrojů vzniklo 4,2 % elektrické energie (ČSÚ, 2010). V roce 2010 se podařilo zvýšit podíl OZE na 6,87 % na výrobě (tab. 4) resp. 8,32 % na spotřebě (tab. 3) a splnit tak

indikativní cíl pro ČR (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE, 2011). Zároveň jsme se přiblížili k splnění cíle dosáhnout 13% podílu OZE na spotřebě elektřiny v roce 2020 (Směrnice 2009/280ES). V rámci EU je to podprůměrná hodnota (tab. 3), avšak kopíruje dispozice našeho státu. Celkový cíl EU zvýšit v energetickém mixu podíl obnovitelných zdrojů na 20 % umožňují státy s velkým potenciálem využití OZE (energie vodní, větrná, solární, geotermální a z odpadů či biomasy), například Portugalsko, Rakousko, Norsko a tento cíl byl téměř splněn již v roce 2010 (tab. 3). Největší růst instalovaného výkonu v předchozích letech zaznamenaly v EU větrné elektrárny a spolu s odpady, biomasou a bioplynem se postaraly o diverzifikaci evropského mixu pro výrobu elektřiny (Market Observatory for Energy, 2010), nověji také fotovoltaické elektrárny.

V České republice by se v budoucnu mělo při výrobě elektrické energie zvyšovat zastoupení obnovitelných zdrojů a jejich poměrné složení projde při dodržení plánů podstatnou změnou (obr. 4).

Tab. 3: Procentuální podíl energie z obnovitelných zdrojů energie (OZE) na spotřebě elektrické energie u vybraných zemí v roce 2010

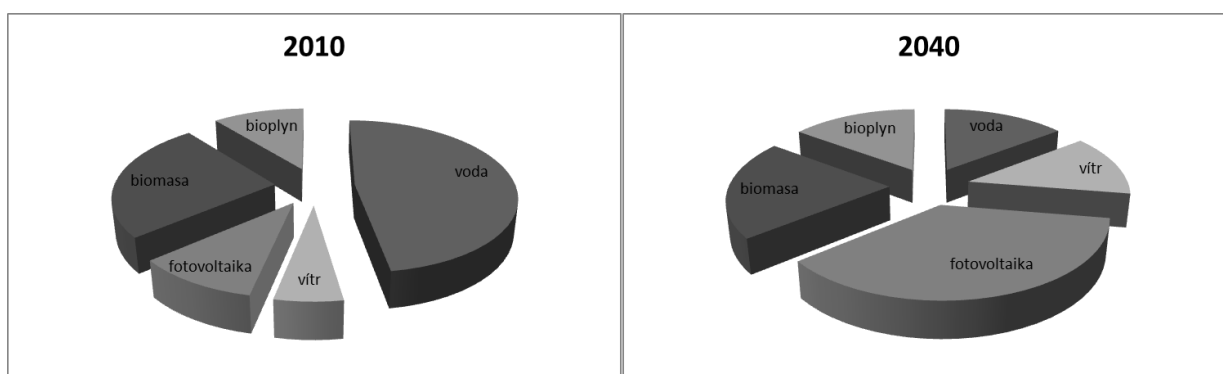
Zdroj dat: Eurostat, 2012

země	EU 27	Kypr	UK	CZ	SRN	Portugalsko	Rakousko	Norsko
OZE	19,9	0,7	6,7	8,3	16,9	50,0	61,4	89,96

Tab. 4: Procentuální zastoupení jednotlivých energ. zdrojů při výrobě elektřiny v ČR v letech 2010, prognóza MPO pro roky 2025 a 2040

Zdroj dat: MPO, 2012

	2010	2025	2040
uhlí	54,7	32,0	21,0
jádro	32,6	48,0	55,0
OZE	6,9	12,7	19,8



Obr. 4: Podíly jednotlivých OZE na výrobě v roce 2010 a 2040 v ČR

Zdroj dat: Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE, 2011; MPO, 2012

### **3.2.1 Uhelná energie**

Uhelná energie měla v energetickém mixu pro výrobu elektrické energie po dlouhou dobu absolutní převahu. Na konci 90. let nahradila jaderná elektrárna Temelín některé zastaralé bloky a celkový instalovaný výkon uhelných elektráren se začal snižovat. Tento útlum by měl pokračovat i nadále, aktualizovaná Státní energetická koncepce počítá s postupným uzavíráním dožívajících elektráren a nové výstavby nepředpokládá. Pokles se vyčísluje na necelých 32 % podílu hrubé výroby elektřiny v roce 2025 a 21 % do roku 2040. Díky snížení využití tohoto fosilního zdroje a omezení jeho vývozu by tuzemské zásoby uhlí měly vydržet déle i bez prolomení těžebních limitů (MPO, 2012).

### **3.2.2 Jaderná energie**

Energie z jádra bude pro blízkou budoucnost ČR klíčová. Odstavené uhelné elektrárny má nahradit dostavba 2 bloků Jaderné elektrárny Temelín a počítá se i s výstavbou nového bloku v Dukovanech. Po zprovoznění nových 2 bloků v roce 2025 má jaderná energie obstarávat 48 % hrubé výroby elektřiny a do roku 2040 by se mohla vyšplhat až k 55 %. Hlavním důvodem preference jaderné energie je její ekonomičnost, stabilita a nezávadnost v oblasti produkce skleníkových plynů (MPO, 2012). Pro dostavbu hovoří i původní projekt, který zahrnoval 4 bloky JE Temelín. Úložiště radioaktivních odpadů se v ČR nachází v areálu Jaderné elektrárny Dukovany a další sklad se připravuje také v JE Temelín. Jejich kapacita je dostačující pro celou dobu životnosti obou českých elektráren (ČEZ, 2012a).

### **3.2.3 Vodní energie**

Pro ČR je vodní energie nejvýznamnější OZE, přesto se podílí jen malou měrou (3,25 %) na hrubé výrobě elektrické energie. Zdejší přírodní podmínky pro něj nejsou právě ideální jak z hlediska spádu, tak i množství vody, proto funguje především jako doplňkový zdroj a pro regulaci množství energie v síti. Velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 10 MW jsou jako zdroj energie nejdůležitější (elektrárny tzv. vltavské kaskády). Malých vodních elektráren je mnohem více (přes 1300) a jsou rozprostřeny po celé České republice (MŽP, 2012a). Výstavba dalších velkých vodních elektráren na území ČR je vysoce nepravděpodobná. Ačkoliv jsou nezávislé na surovinách, při jejich provozu nevznikají emise ani odpady a nádrže lze využít také pro rekreaci nebo jako zásobárnu vody (která se začíná jevit jako čím dál více strategická surovina), nevyhovující přírodní podmínky a ochrana krajinného rázu prozatím tyto jejich výhody převyšují. Naproti tomu potenciál malých vodních elektráren vyčerpán není (podle MŽP jsou využívány asi 2/3) a na rozdíl od VVE mají i další pozitiva v nesrovnatelně menších

zásazích do krajiny a pomocí rybích přechodů i odstranění migračních bariér. Problémem je však nedostatek vhodných lokalit a ekonomické nebo administrativní překážky, které výstavbě dalších či rekonstrukci zastaralých MVE brání (MŽP, 2012a).

Celkově je tedy vodní energie v ČR důležitá spíše z hlediska regulace elektrizační soustavy a její podíl na výrobě elektřiny je možné zvýšit jen nepatrně, zefektivněním MVE nebo relativně celkovým snížením spotřeby elektrické energie. Nejnovější aktualizace Státní energetické koncepce počítá s mírným zvyšováním do roku 2025, poté stagnaci a v roce 2040 celkový podíl 2,8 % na hrubé výrobě elektřiny (MPO, 2012).

### **3.2.4 Větrná energie**

Největší boom ve využití energie větru nastal v České republice po roce 2000. Mezi lety 2002 a 2011 byl instalovaný výkon navýšen z 3 MW na 270 MW (Windpower, 2012). MPO předpokládá další postupný vzrůst výroby elektrické energie z větru na 12,5 % výroby z OZE, celkově 2,5 % do roku 2040. To představuje 2,4 TWh, což je zhruba 7krát více, než bylo vyrobeno v roce 2010 (MPO, 2012). Zhruba 60-70 % ploch vhodných pro výstavbu větrných elektráren ale připadá na chráněná území (Krušné hory, Jeseníky) a problematické pro ně mohou být také klimatické výkyvy během sezón nebo zábor půdy v případě větrných farem (ČEZ, 2012c).

### **3.2.5 Solární energie**

Fotovoltaické elektrárny by měly největším rozvojem v České republice projít až po roce 2025 a v roce 2040 zastávat více než 1/3 výroby energie z obnovitelných zdrojů, celkově 7 %. Od roku 2010, kdy se na celkové výrobě podílely 0,7 %, je to ještě větší nárůst, než u elektráren větrných. Důraz bude při tom kladen na instalace na střechách a konstrukcích budov (MPO, 2012), protože solární energie v případě pozemních elektráren zabírá velká území a narušuje krajinný ráz. Dalším negativem stejným jako u větrné energie je závislost na klimatických podmínkách.

### **3.2.6 Biomasa, bioplyn**

Dalším z cílů Státní energetické koncepce je využití potenciálu, který mají biomasa a bioplyn a využití odpadů. Dohromady by se tyto 2 suroviny měly postarat o zbývající třetinu výroby elektřiny z OZE v roce 2040 (MPO, 2012).



### 3.3 Chytrá energie

Mimo Státní energetické koncepce, vydávané MPO, se složením a budoucností energetického mixu zabývají i jiné dokumenty, například Chytrá energie. Jedná se o obsáhlý návrh vzniklý spoluprací Hnutí Duha, Calla, Greenpeace, Centra pro dopravu a energetiku a Ekologického institutu Veronica. Společnými cíli obou těchto dokumentů je zlepšování energetické efektivity, decentralizace zdrojů, obě předpokládají také rozvoj tzv. inteligentních sítí, které mají řešit problém nestálosti výroby energie z obnovitelných zdrojů. Rozchází se ovšem v zásadním bodě, a to využití energie z jádra. Oproti MPO, které plánuje vzestup jaderné energetiky, ekologické organizace ji ve svých prognózách utlumují a prosazují import bioplynu a energie z obnovitelných zdrojů ze zahraničí (MPO, 2012; Polanecký et al., 2010).

### 3.4 LCA a energetika

Jak již bylo řečeno, výsledky LCA studie jsou ovlivňovány lokálními způsoby výroby elektrické energie, která je spotřebovávána během životního cyklu produktu. I samotná výroba elektrické energie je však vhodným předmětem pro posuzování environmentálních dopadů a získané informace mohou usnadnit rozhodování při volbě budoucích energetických mixů.

Studie provedená pro Belgie a Španělsko porovnává scénáře možných budoucích energetických mixů. Výsledky belgických energetických mixů, v porovnání s referenčním rokem 2005, vychází v téměř všech kategoriích dopadu hůře. To je pravděpodobně způsobeno vyřazením jaderných elektráren z provozu a jejich nahrazením většinovým podílem zemního plynu, dále uhlím a stále omezeným podílem OZE. Naopak pro Španělsko všechny scénáře představují zlepšení, díky předpovězenému vzrůstu využití OZE. Se zaměřením na kategorii dopadu globální oteplování mají největší dopady právě uhlí a plyn, jaderná energie a OZE se projevují nejméně. Kromě nejzásadnějšího bodu, zvýšení efektivity a snížení spotřeby energie, autoři podle získaných výsledků propagují diverzifikovaný energetický mix zaměřený na jadernou energii a OZE a pouze doplněný tradičními fosilními zdroji (Foidart et al., 2010).

Ke stejnému závěru dochází autoři LCA studie týkající se produkce elektřiny v Mexiku (Santoyo-Castelazo et al., 2011). Výsledky LCIA pro spalování fosilních paliv jsou o to horší, že mexické elektrárny postrádají až na elektrostatické odlučovače jakékoliv technologie čištění emisí. Z hlediska GWP dosáhlo nejvyšších hodnot uhlí, za ním těžké oleje těsně následované naftou. Zhruba poloviční hodnota připadla na plyn, o řád menší hodnoty vyšly pro geotermální energii a o další řád níže se umístila větrná, vodní a jaderná energie. Podobně tomu bylo i v ostatních kategoriích dopadu, kde největší příspěvky měla fosilní paliva a jaderná

energie spolu s OZE se pohybovaly v nízkých hodnotách pod 1 % podílu na rozvoji dané kategorie dopadu. Výjimkou byl úbytek stratosférického ozonu, na němž se jaderná energie podílela 4 % a acidifikace, na níž se o něco více než 1 % podílela geotermální energie.

O něco nejistější závěry ohledně prospěšnosti obnovitelných zdrojů představuje studie z Německa. Na spotřebě železné rudy a bauxitu se podle ní OZE téměř rovnají konvenčním zdrojům, solární energie je v rámci spotřeby hliníku a železa dokonce převyšuje, větrná energie má také vysokou spotřebu železa. Spalování biomasy se nepříznivě podílí na eutrofizaci a spalování bioplynu na acidifikaci. Přínosy technologií OZE autor vidí v nízkých hodnotách emisí skleníkových plynů a spotřeby fosilních paliv, na druhou stranu jsou právě tyto 2 body vnímány jako zásadní problémy dnešní energetiky, a mají proto velkou váhu. Ostatní výsledky do velké míry závisí na konkrétních případech. Do budoucnosti lze ale předpokládat technické pokroky, a tím další snížení dopadů technologií OZE (Pehnt, 2006).

Další výhoda obnovitelných zdrojů spočívá podle Akella et al. (2009) v řešení problémů dodávky elektřiny do odlehlých oblastí. Využitím lokálních zdrojů energie se zamezí síťovým ztrátám dodávek energie na velké vzdálenosti.

Co ale žádná z prací neuvažuje, je vyhodnocování ekologických vlivů obnovitelných zdrojů energie z hlediska záboru krajiny – pěstování biomasy, rozsáhlé přehradní nádrže, větrné a solární parky mohou negativně ovlivnit některé funkce krajiny. Ani jejich závislost na klimatických podmínkách není zahrnuta. Pro fotovoltaiku, která je na trhu pouze krátkou dobu, ale rychle se rozvíjí, nám pro uplatnění ve studii LCA chybí informace o celém životním cyklu. Posuzování je složitě aplikovatelné i pro rizikové produkty, tzn. jadernou energetiku. Ačkoliv nepravděpodobné, potenciální riziko environmentální katastrofy v případě havárie nelze do studie zahrnout (Udo de Haes & Heijungs, 2007).

Obecně všechny obnovitelné zdroje mají hlavní pozitivum v minimálních emisích (nejen) skleníkových plynů (v případě biomasy a bioplynu jsou emise součástí přirozeného uhlíkového cyklu) a ve využití lokálních zdrojů. Přínosem toho je jednak nezávislost v ohledu nerostných surovin, ale také decentralizace výroby elektřiny a snižování ztrát v distribučních sítích při přenosech na dlouhé vzdálenosti. Jaderná energie je z hlediska LCA také velmi čistý zdroj. Její největší význam tkví v objemu produkce a podle dosavadních vědeckých poznatků je to environmentálně nejvhodnější producent energie pro země s nízkým potenciálem OZE.

## 4. Vlastní studie

Účelem studie je porovnat environmentální dopady níže zmíněných technologií nakládání s odpady (viz 4.1) a zhodnotit jejich variabilitu při použití energetických mixů rozdílného složení (viz 4.2).

### 4.1 Porovnání technologií

Pro mou práci byly vybrány 3 technologie nakládání s odpady: skládkování bez využití energie (obr. 5), skládkování s využitím energie (obr. 6) a spalování s využitím energie (obr. 7).

Funkční jednotkou je nakládání s 1 tunou směsného komunálního odpadu (SKO).

Ve studii je zahrnut provoz technických zařízení pro nakládání s odpadem, spotřeba energie, vody a paliv, materiálové vstupy a recyklace získaných materiálů a energie, provoz pojezdových prostředků pro zhutňování odpadu a úpravy povrchu skládky a emise do vzduchu, vody a půdy.

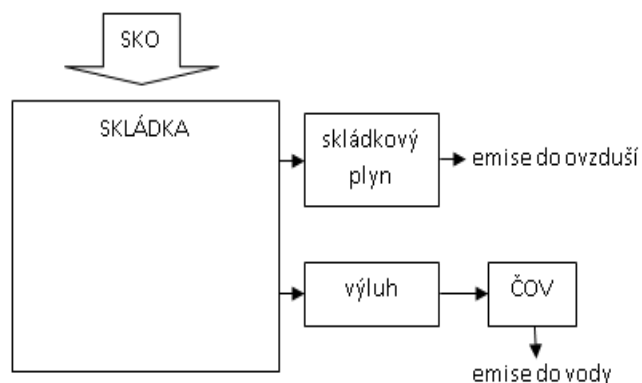
Data použitá pro tyto 3 technologie pochází z konkrétních zařízení nacházejících se na území České republiky, byla poskytnuta pro tuto práci doc., Ing. Vladimírem Kočím, Ph.D. a byla publikována také v článku „*Mixed municipal waste management in the Czech Republic from the point of view of the LCA method*“ (Kočí & Trecáková, 2011). Sběr dat byl proveden prostřednictvím formulářů ve formě dotazníku pro jednotlivé provozovatele zařízení a osobními konzultacemi. Pro obecně používané procesy byly využity standardní datové soubory Evropské komise v software GaBi (PE International) databázově zpracované pro jednotlivé regiony či státy. Výjimku v mé práci tvoří energetický mix, kde byla místo databázového složení použita vlastní data ohledně procentuálního zastoupení jednotlivých zdrojů, a to varianta CEZ2010 (viz 4.2).

Charakterizace byla provedena na základě metodiky CML, která přiřazuje toky emisí ke kategoriím dopadu, na jejichž rozvoji se podílí. Zároveň určuje charakterizační faktory, jejichž pomocí lze vyčíslit míru působení elementárních toků na kategorii dopadu. Autorem této metodiky je prof. Helias A. Udo de Haes.

Vyhodnocovanými kategoriemi dopadu jsou: úbytek nerostných surovin včetně fosilních zdrojů, globální oteplování (globální klimatická změna), acidifikace, eutrofizace, vznik přízemního ozonu, úbytek stratosférického ozonu, humánní toxicita a sladkovodní a terestrická ekotoxicita.

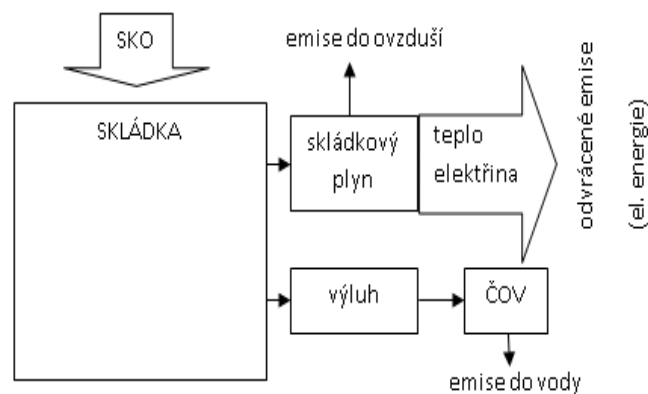
Obr. 5: Schéma skládkování bez využití energie

Směsný komunální odpad je uložen na skládku, je rozhrnován a zhutňován. Výstupy jsou skládkový plyn a výluhy. V tomto případě je skládkový plyn shromažďován a spalován bez využití a výluh je odčerpáván pomocí drenážních systémů a opětovně využit na skládce nebo odváděn do ČOV.



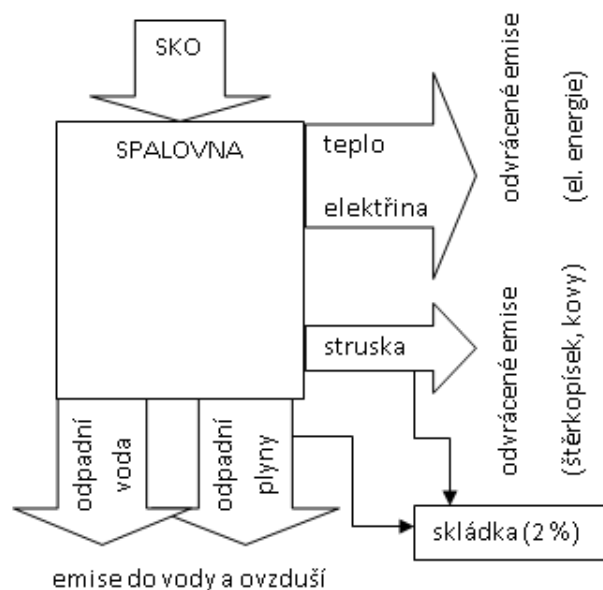
Obr. 6: Schéma skládkování s využitím energie

Probíhá stejně jako v předchozím případě, ovšem skládkový plyn je použit pro získání tepelné a elektrické energie. Ty jsou ve výpočtech modelovány jako inverzní tok (záporné emise). Tzn. emise, které by vznikly produkcí stejného množství energie při klasické výrobě a které byly tímto způsobem odvráceny.



Obr. 7: Schéma spalování s využitím energie

Tato technologie probíhá v zařízeních pro energetické využití odpadu a produkuje tepelnou a elektrickou energii. Další využitelné výstupy jsou struska (sloužící jako stavební materiál) a kovy. Emisemi jsou odpadní plyny a popílek. Pouze 2 % z celkové hmotnosti odpadu jsou následně uložena na skládku. Využitelné výstupy se modelují jako odvrácené emise, v případě strusky jako ušetřené množství šterkopísku.



## 4.2 Energetické mixy

V této práci porovnávám celkem 6 různých scénářů energetických mixů (tab. 5). Dva z nich, CZ a SWE, pocházejí rovněž z databáze GaBi, ostatní 4 byly vytvořeny na základě informací z uvedených zdrojů.

### 1) CZ

Energetický mix z databáze pro Českou republiku.

### 2) CEZ2010

Podkladem tohoto scénáře je palivový mix společnosti ČEZ, jakožto nejvýznamnějšího subjektu na domácím trhu s elektřinou, za rok 2010. Podklady: energetický mix (ČEZ, 2012b), rozdělení hnědého a černého uhlí (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE, 2011). Oproti aktuální situaci je zde mírně nadhodnocené využití jaderné energie na úkor uhelné.

### 3) MPO2030

Zdrojem pro vytvoření scénáře jsou data získaná z aktualizace Státní energetické koncepce České republiky 2009. Jedná se o výhled skladby výroby elektřiny pro rok 2030 podle Ministerstva průmyslu a obchodu. V porovnání s aktualizací z roku 2012, byla předchozí optimističtější v oblasti využívání OZE, naopak o něco menší měl být podle ní budoucí podíl jaderné energie, využití energie z uhlí změny nezaznamenalo (MPO, 2009; MPO, 2012).

### 4) MZP2020

Zde použitá čísla vychází z Politiky ochrany klimatu. Scénář obsahuje předpoklady Ministerstva životního prostředí pro budoucnost výroby elektrické energie v roce 2020 (MŽP, 2012b)

### 5) EKO

Tento scénář představuje fiktivní variantu založenou na nahrazení části jaderné energie zemním plynem.

### 6) SWE

Energetický mix z databáze sestavený pro Švédsko.

Tab. 5: Přehled složení použitých energetických mixů

	<b>CZ</b>	<b>CEZ2010</b>	<b>MPO2030</b>	<b>MZP2020</b>	<b>EKO</b>	<b>SWE</b>
<b>jádro</b>	24,5	39,0	53,0	45,2	33,0	46,3
<b>hnědé uhlí</b>	58,4	42,9	20,1	18,5	20,1	0
<b>černé uhlí</b>	7,1	7,1	3,9	3,7	3,9	1,6
<b>voda</b>	3,7	3,5	5,0	5,0	5,0	45,6
<b>vítr</b>	0	0,3	6,0	6,0	6,0	0,4
<b>biomasa</b>	0,7	1,0	4,0	4,0	4,0	3,0
<b>zemní plyn</b>	3,8	2,5	4,0	14,3	24,0	0,4

Vstupní data pro LCA, týkající se výroby energie, byla taktéž převzata z databáze GaBi, kromě výroby hnědouhelné energie. Pro ni data poskytl doc., Ing. Vladimír Kočí, Ph.D a pochází z elektrárny provozované na českém území.

Kvůli nedostatku dat pro fotovoltaické panely nemohl být do práce zahrnut podíl solární energie. Podle uvážení byla chybějící procenta přerozdělena k jiným zdrojům či zahrnuta do ztrát.

## 4.3 Výsledky

### 4.3.1 Technologie nakládání s odpady

#### 4.3.1.1 Inventarizační analýza

V tab. 6 jsou uvedeny vybrané výsledky inventarizace – spotřeba surovin a emise do prostředí. Záporné číselné hodnoty jsou výsledkem inverzních toků díky energetickému či materiálovému využití jednotlivých položek. V takových případech úspory dané technologie nakládání s odpady převyšují vstupní hodnotu a tím šetří materiálové zdroje či předchází emisím.

Co se týče náročnosti na zdroje energie, technologií s nejlepšími výsledky je jednoznačně spalování. Díky využívání tepelné energie vzniklé při spalování odpadu dochází k úsporám spotřeby energetických surovin, v případě uhlí a zemního plynu jsou zásoby ušetřeny, v případě ropy je spotřeba několikrát nižší vzhledem k porovnávaným technologiím. Z technologií skládkování vychází dle předpokladu lépe skládka s kogenerací, která také dokáže částečně nahradit svou spotřebu energie, ale neušetří takové množství zdrojů jako spalovna. Významné negativní vlivy spaloven odpadů představují spotřeba vody, emise oxidu uhličitého a emise anorganických látek do vod. Oxid uhličitý a metan jsou hlavními emisemi do ovzduší ze skládek odpadů. Emise do půdy jsou pro obě technologie skládkování srovnatelné, emise do vod jsou vyšší pro skládky bez kogenerace.

Tab. 6: Přehled vybraných výsledků inventarizační analýzy (v kg/t SKO)

	Skládka bez KGE CEZ2010	Skládka s KGE CEZ2010	Spalovna CEZ2010
<b>Zdroje</b>			
Ropa	6,53E-01	6,93E-01	1,66E-01
Černé uhlí	9,94E-02	-8,34E-01	-1,92E-01
Hnědé uhlí	1,10E+00	-1,70E+01	-3,65E+01
Zemní plyn	5,12E-02	-2,00E-02	-1,70E+02
Inertní kámen	2,36E+00	-2,58E+00	4,86E+01
Vápenec	1,12E-01	-1,85E+00	-9,12E-01
Půda	5,20E+01	5,41E+01	-5,77E+01
Voda	6,49E+00	-6,98E+01	3,36E+03
<b>Emise do ovzduší</b>			
Amoniak	1,41E-05	-5,72E-06	7,01E-03
Oxid uhličitý	2,39E+01	1,72E+01	4,51E+02
Oxidy dusíku	1,21E-01	1,34E-01	2,52E-01
Pára	2,72E+00	1,57E+01	-3,67E+02
Oxid siřičitý	3,58E-02	-6,28E-02	-4,77E-01
Polycyklické aromatické uhlovodíky	2,48E-05	2,60E-07	-2,66E-06
Halogenované organické látky	2,15E-06	-7,01E-06	-1,62E-05
Metan	1,24E+01	8,53E-01	-1,16E+00
<b>Emise do vody</b>			
Celkový organicky vázaný uhlík	9,97E-06	8,49E-06	-1,01E-03
Kadmium (+II)	8,76E-08	-2,92E-07	1,84E-04
Chrom (+III)	4,59E-08	-6,61E-07	-1,30E-06
Chrom (+VI)	8,86E-12	-1,61E-10	3,17E-05
Olovo (+II)	5,11E-07	-6,77E-06	1,33E-03
Rtuť (+II)	2,50E-09	-1,21E-08	7,32E-03
Hliník (+III)	1,61E-05	-2,39E-04	-4,76E-04
Dusičnany	2,59E-04	-2,94E-05	1,89E-04
Fosforečnany	7,14E-07	-1,59E-06	4,13E-04
Organické látky	5,58E-06	-4,24E-06	-3,18E-04
<b>Emise do půdy</b>			
Kadmium (+II)	2,56E-10	2,28E-10	-9,24E-08
Chrom	7,02E-08	6,92E-08	-2,54E-05
Železo	1,02E-07	1,03E-07	-3,70E-05
Rtuť (+II)	1,44E-12	1,03E-12	-5,13E-10
Stroncium	2,28E-05	2,32E-05	-8,37E-03
Amoniak	3,61E-05	3,67E-05	-1,32E-02
Chloridy	3,99E-02	2,36E-02	1,59E+00
Sírany	2,63E-03	1,56E-03	-4,16E-04

Pouhým zjištěním a porovnáním hmotnostního toku emisí ale nelze určit, do jaké míry jsou technologie pro životní prostředí škodlivé. Dopad látky závisí také na jejích biologických účincích a nebezpečnosti, které se dají dohromady označit jako potenciál dopadu, a na prahových hodnotách koncentrace, dávky či expozice (množství látky v místě jejího působení na rozvoj kategorie dopadu), které musí být dosaženy, aby se účinky projevily.

#### 4.3.1.2 Charakterizace

Lepší posouzení, charakterizaci dopadů metodikou CML, shrnuje tab. 7. Zátěž životního prostředí vyjadřuje skrze indikátory kategorií dopadů. Výsledek indikátoru kategorie dopadu kromě hmotnosti látky zohledňuje i tzv. charakterizační faktor, pro konkrétní látky tabelovanou hodnotu (např. GWP pro globální oteplování), a proto přesněji vystihuje míru škodlivosti emisí pro jednotlivé kategorie dopadu.

Tab. 7: Charakterizace dopadů systémů nakládání s odpady

	Skládka bez KGE CEZ2010	Skládka s KGE CEZ2010	Spalovna CEZ2010
Úbytek abiotických zdrojů včetně fosilních [MJ]	4,43E+01	-1,84E+02	-6,42E+03
Acidifikace [kg SO <sub>2</sub> -ekv]	3,78E+00	4,44E-01	-4,41E-01
Eutrofizace [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv]	3,86E+00	2,33E-01	2,44E-02
Globální oteplování [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	3,35E+02	3,85E+01	4,21E+02
Úbytek stratosférického ozonu [kg CFC11-ekv]	4,12E-07	-5,88E-06	-1,27E-05
Vznik fotooxidantů [kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -ekv]	9,52E-02	8,57E-03	-5,42E-02
Humánní toxicita [kg DCB-ekv]	1,50E+00	3,18E-01	3,94E+02
Sladkovodní ekotoxicita [kg DCB-ekv]	2,12E-02	-1,85E-02	4,74E+01
Terestrická ekotoxicita [kg DCB-ekv]	1,39E-01	8,05E-02	2,57E+01

#### *Úbytek surovin*

Největší (a v podstatě jediný) vzrůst energetické náročnosti při těžbě neobnovitelných surovin připadá na skládkování bez kogenerace (44,3 MJ/tuna SKO). Jak skládka s využitím skládkového plynu (-184 MJ), tak spalování (-6420 MJ) mají bilanci negativní a vykazují úspory abiotických surovin, a to díky vlastní produkci energie.

#### *Acidifikace*

Obě technologie skládkování se podílí na acidifikaci prostředí, zatímco spalování odpadu jí pomáhá předcházet (-0,44 kg SO<sub>2</sub>-ekvivalentu). To je pravděpodobně způsobeno produkcí energie v souvislosti s českým energetickým mixem a šetřením zdrojů přispívajících k acidifikaci. Čím větší vliv na acidifikaci bude mít běžná výroba energie v elektrárnách, tím



lepší bilanci při odvracení acidifikace budou mít systémy, které energii produkují. A to v důsledku inverzního toku: čím horší emise odečteme, tím nižší výsledky vzniknou a mohou přejít až do záporné bilance, která vznikla právě u systému spalování. Ačkoliv k produkci energie dochází i spalováním skládkového plynu u technologie skládkování s kogenerací, získané množství energie není zřejmě dostatečné pro přechod do záporné bilance (0,44 kg SO<sub>2</sub>-ekvivalentu). Stále ale pro kategorii acidifikace vychází o řád lépe než skládkování bez využití skládkového plynu (3,78 kg SO<sub>2</sub>-ekvivalentu).

#### *Eutrofizace*

Na eutrofizaci prostředí se opět nejvíce podílí skládky bez kogenerace se svými 3,86 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv, o něco méně skládky s kogenerací s 0,23 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv a nejméně systém spalování odpadu s 0,02 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv.

#### *Globální klimatická změna*

Na kategorii dopadu globální oteplování se všechny tři systémy podílí výrazněji. Na jednu tunu SKO ve spalovně odpadů vznikne přibližně 421 kg CO<sub>2</sub>-ekv, ze skládky odpadů bez KGE se uvolní 325 kg CO<sub>2</sub>-ekv a na skládku s KGE připadá 38,5 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

#### *Úbytek stratosférického ozonu*

Naopak v oblasti narušování vrstvy stratosférického ozonu nemá nakládání s odpady velký vliv, čísla se pohybují v řádově nízkých hodnotách 4,12E-07 kg CFC11-ekv pro skládku bez KGE, v hodnotách odvrácených emisí -5,88E-06 kg CFC11-ekv pro skládku s KGE, o řád více odvrácených emisí pro spalovnu odpadů -1,27E-05 kg CFC11-ekv.

#### *Vznik fotooxidantů*

Kategorii dopadu vzniku fotooxidantů nejvíce zasahuje skládkování bez využití skládkového plynu (0,09 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv), méně skládkování s jeho využitím (0,008 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv) a jejímu rozvoji pomáhá předcházet spalování (-0,05 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv).

#### *Toxicita*

Na všechny 3 kategorie humánní toxicita, sladkovodní ekotoxicita a terestrická ekotoxicita má nejvíce negativní vliv spalování odpadu (394 kg DCB-ekv, 47 kg DCB-ekv a 25 kg DCB-ekv/tuna SKO). Nejméně negativní (v případě sladkovodní toxicity dokonce pozitivní) vliv má skládkování s KGE (0,31 kg DCB-ekv; -0,01 kg DCB-ekv; 0,08 kg DCB-ekv). Mezi nimi je skládkování bez KGE (1,5 kg DCB-ekv; 0,02 kg DCB-ekv; 0,1 kg DCB-ekv).

### 4.3.2 Vliv energetického mixu

#### 4.3.2.1 Skládka bez kogenerace

Tab. 8: Charakterizace dopadů skládkování bez kogenerace s použitím různých energetických mixů

	CEZ2010	CZ	MZP2020	MPO2030	EKO	SWE
Úbytek abiotických zdrojů vč. fosilních [MJ]	4,43E+01	4,70E+01	4,04E+01	3,96E+01	4,21E+01	3,34E+01
Acidifikace [kg SO <sub>2</sub> -ekv]	3,78E+00	3,82E+00	3,78E+00	3,78E+00	3,78E+00	3,78E+00
Eutrofizace [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv]	3,86E+00	3,86E+00	3,86E+00	3,86E+00	3,86E+00	3,86E+00
Globální oteplování [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	3,35E+02	3,35E+02	3,34E+02	3,34E+02	3,34E+02	3,33E+02
Úbytek stratosférického ozonu [kg CFC11-ekv]	4,12E-07	2,77E-07	4,16E-07	4,75E-07	3,28E-07	4,15E-07
Vznik fotooxidantů [kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -ekv]	9,52E-02	9,66E-02	9,51E-02	9,51E-02	9,51E-02	9,50E-02
Humánní toxicita [kg DCB-ekv]	1,50E+00	1,61E+00	1,50E+00	1,50E+00	1,50E+00	1,50E+00
Sladkovodní ekotoxicita [kg DCB-ekv]	2,12E-02	2,12E-02	2,13E-02	2,16E-02	2,09E-02	2,14E-02
Terestrická ekotoxicita [kg DCB-ekv]	1,39E-01	1,42E-01	1,39E-01	1,39E-01	1,39E-01	1,39E-01

Skládku bez kogenerace můžeme chápat jako klasický produkt, který energii pouze spotřebovává. Tab. 8 zobrazuje, jak se mění výsledky charakterizace, měníme-li složení této vstupní energie. Ze všech 3 systémů, porovnávaných v této práci, se výsledky liší nejméně právě u skládky bez využití energie. Kategorie dopadu eutrofizace se změny energetického mixu nedotkly vůbec (3,86 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv), acidifikace (3,78 kg SO<sub>2</sub>-ekv), humánní toxicity (1,5 kg DCB-ekv) a terestrické ekotoxicity (0,14 kg DCB-ekv) vždy až na jednu výjimku také ne. Pro globální oteplování se hodnoty pohybovaly od 333 do 335 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Výsledky zbylých kategorií vycházely podobně, ale v desetinných číslech. Jako kategorie s největšími výkyvy od 33,4 MJ do 47 MJ by se dal označit úbytek abiotických zdrojů, ani zde však k podstatným proměnám hodnot nedošlo.

Nejlepší výsledky získal švédský energetický mix, při jehož použití se 7 z 9 kategorií dopadu rozvíjelo méně či stejně jako při použití ostatních mixů. Za povšimnutí stojí energetický mix CZ, který je v několika případech jedinou odchylkou mezi ostatními mixy.

#### 4.3.2.2 Skládka s kogenerací

Tab. 9: Charakterizace dopadů skládkování s kogenerací s použitím různých energetických mixů

	<b>CEZ2010</b>	<b>CZ</b>	<b>MZP2020</b>	<b>MPO2030</b>	<b>EKO</b>	<b>SWE</b>
<b>Úbytek abiotických zdrojů vč. fosilních [MJ]</b>	-1,84E+02	-2,32E+02	-1,12E+02	-9,70E+01	-1,42E+02	1,70E+01
<b>Acidifikace [kg SO<sub>2</sub>-ekv]</b>	4,44E-01	-1,54E-01	5,05E-01	5,04E-01	5,02E-01	5,30E-01
<b>Eutrofizace [kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv]</b>	2,33E-01	2,27E-01	2,33E-01	2,33E-01	2,33E-01	2,35E-01
<b>Globální oteplování [kg CO<sub>2</sub>-ekv]</b>	3,85E+01	3,66E+01	4,65E+01	4,73E+01	4,39E+01	5,95E+01
<b>Úbytek stratosférického ozonu [kg CFC11-ekv]</b>	-5,88E-06	-3,42E-06	-5,94E-06	-7,03E-06	-4,36E-06	-5,93E-06
<b>Vznik fotooxidantů [kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv]</b>	8,57E-03	-1,67E-02	1,09E-02	1,10E-02	1,07E-02	1,21E-02
<b>Humánní toxicita [kg DCB-ekv]</b>	3,18E-01	-1,67E+00	3,47E-01	3,27E-01	3,71E-01	3,57E-01
<b>Sladkovodní ekotoxicita [kg DCB-ekv]</b>	-1,85E-02	-1,80E-02	-1,96E-02	-2,46E-02	-1,20E-02	-2,10E-02
<b>Terestrická ekotoxicita [kg DCB-ekv]</b>	8,05E-02	2,40E-02	8,04E-02	8,08E-02	7,99E-02	8,00E-02

Skládka s kogenerací vyrobí několikanásobně více energie (v tomto konkrétním případě cca 17krát), než spotřebuje na svůj provoz. V charakterizačním profilu (tab. 9) se produkovaná energie projevuje jako odvrácené emise.

Úbytku zdrojů je předejito ve všech případech kromě švédského mixu, nejvíce při použití mixů CZ a CEZ2010. Pro mix CZ předchází skládkování s kogenerací acidifikaci o 0,15 kg SO<sub>2</sub>-ekv na tunu odpadu, pro ostatní mixy se naopak na acidifikaci podílí od 0,44 kg SO<sub>2</sub>-ekv (CEZ2010) do 0,53 kg SO<sub>2</sub>-ekv (SWE). Globální oteplování se rozvíjí ve všech případech, nejméně při mixech CZ a CEZ2010 (36,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv resp. 38,5 kg CO<sub>2</sub>-ekv), nejvíce při použití švédské energie (59,5 kg CO<sub>2</sub>-ekv).

Eutrofizace zůstává téměř beze změn na 0,23 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv. Úbytek stratosférického ozonu je sice proměnlivý, ale v řádově velice nízkých hodnotách. Ostatní kategorie vychází také v nízkých hodnotách, řádově stejně při použití jakéhokoliv energetického mixu. Odchyluje se opět mix CZ.

### 4.3.2.3 Spalovna s kogenerací

Tab. 10: Charakterizace dopadů spalování odpadů s použitím různých energetických mixů

	CEZ2010	CZ	MZP2020	MPO2030	EKO	SWE
Úbytek abiotických zdrojů vč. fosilních [MJ]	-6,42E+03	-6,54E+03	-6,25E+03	-6,21E+03	-6,32E+03	-5,93E+03
Acidifikace [kg SO <sub>2</sub> -ekv]	-4,41E-01	-1,91E+00	-2,92E-01	-2,94E-01	-2,98E-01	-2,31E-01
Eutrofizace [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv]	2,44E-02	8,93E-03	2,53E-02	2,55E-02	2,46E-02	2,87E-02
Globální oteplování [kg CO <sub>2</sub> -ekv]	4,21E+02	4,16E+02	4,40E+02	4,42E+02	4,34E+02	4,72E+02
Úbytek stratosférického ozonu [kg CFC11-ekv]	-1,27E-05	-6,61E-06	-1,28E-05	-1,55E-05	-8,91E-06	-1,28E-05
Vznik fotooxidantů [kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -ekv]	-5,42E-02	-1,16E-01	-4,84E-02	-4,82E-02	-4,90E-02	-4,55E-02
Humánní toxicita [kg DCB-ekv]	3,94E+02	3,89E+02	3,94E+02	3,94E+02	3,94E+02	3,94E+02
Sladkovodní ekotoxicita [kg DCB-ekv]	4,74E+01	4,74E+01	4,74E+01	4,74E+01	4,74E+01	4,74E+01
Terestrická ekotoxicita [kg DCB-ekv]	2,57E+01	2,56E+01	2,57E+01	2,57E+01	2,57E+01	2,57E+01

Pro spalování odpadů platí stejný princip jako pro skládkování s kogenerací s tou odlišností, že z 1 tuny spáleného odpadu vznikne ještě 2,5krát více energie než v předchozím systému.

Nejvíce zdrojů ušetří spalovna se vstupem českého databázového mixu (-6540 MJ), nejméně při použití švédského databázového mixu (-5930 MJ) na tunu odpadu. Stejně tomu je u acidifikace s hodnotami -1,91 kg SO<sub>2</sub>-ekv resp. -0,23 kg SO<sub>2</sub>-ekv a globálního oteplování se 416 kg CO<sub>2</sub>-ekv resp. 472 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

V kategoriích dopadu humánní toxicita, sladkovodní ekotoxicita a terestrická ekotoxicita jsou hodnoty pro všechny energetické mixy vyrovnané na 394 kg DCB-ekv, resp. 47,4 kg DCB-ekv, resp. 25,7 kg DCB-ekv (tab. 10). Ostatní kategorie vychází v řádově nízkých a relativně vyrovnaných hodnotách.

### 4.3.2.4 Shrnutí

Pro celkový přehled byly vybrány výsledky pro kategorie dopadu acidifikace, globální oteplování a úbytek zdrojů, které byly volbou energetického mixu ovlivněny nejvíce (tab. 11). Pro každý energetický mix zvlášť pak byla technologie v dané kategorii oznámkována od nejlepší (1) po nejhorší (3). Výsledky jsou zobrazeny v tab. 12.

Tab. 11: Porovnání technologií s použitím různých mixů pro kategorie dopadu acidifikace, globální oteplování a úbytek zdrojů

	CEZ2010	CZ	MZP2020	MPO2030	EKO	SWE
<b>Acidifikace [kg SO<sub>2</sub>-ekv]</b>						
Skládka bez KGE	3,78	3,82	3,78	3,78	3,78	3,78
Skládka s KGE	0,44	-0,15	0,50	0,50	0,50	0,53
Spalovna	-0,44	-1,91	-0,29	-0,29	-0,30	-0,23
<b>Globální oteplování [kg CO<sub>2</sub>-ekv]</b>						
Skládka bez KGE	334,54	334,65	334,11	334,06	334,25	333,39
Skládka s KGE	38,53	36,61	46,50	47,28	43,91	59,55
Spalovna	420,79	415,92	440,38	442,29	434,00	472,44
<b>Úbytek abiotických zdrojů vč. fosilních [MJ]</b>						
Skládka bez KGE	44,35	47,05	40,42	39,61	42,09	33,35
Skládka s KGE	-183,50	-231,97	-111,88	-97,04	-142,28	17,02
Spalovna	-6422,89	-6543,74	-6246,86	-6210,36	-6321,57	-5930,02

Tab. 12: Výsledné pořadí technologií s použitím různých mixů pro kategorie dopadu acidifikace, globální oteplování a úbytek zdrojů, 1 je nejlepší, 3 je nejhorší

	CEZ2010	CZ	MZP2020	MPO2030	EKO	SWE
<b>Acidifikace</b>						
Skládka bez KGE	3	3	3	3	3	3
Skládka s KGE	2	2	2	2	2	2
Spalovna	1	1	1	1	1	1
<b>Globální oteplování</b>						
Skládka bez KGE	2	2	2	2	2	2
Skládka s KGE	1	1	1	1	1	1
Spalovna	3	3	3	3	3	3
<b>Úbytek abiotických zdrojů vč. fosilních</b>						
Skládka bez KGE	3	3	3	3	3	3
Skládka s KGE	2	2	2	2	2	2
Spalovna	1	1	1	1	1	1

## 4.4 Diskuze

Problémem, který vyvstane již při první fázi tvorby LCA studie, je otázka hranic systému aneb do jaké míry zahrnovat související procesy. Pro příklad odpadů je nutné stanovit, zda do procesů zahrnout stavbu zařízení pro nakládání s odpady, transport odpadů a s ním související spotřebu paliva, výrobu svozových automobilů nebo i výstavbu zařízení, kde se automobily vyrábí. Hranice v této práci (4.1) byly stanoveny s ohledem na to, že doba životnosti spalovny jsou desítky let, takže dopady spojené s výstavbou a demolicí samotného zařízení jsou zanedbatelné (Kočí & Trecáková, 2011). Ani výroba svozových automobilů a transport nejsou součástí, protože lze předpokládat, že pro všechny 3 technologie jsou přibližně stejné, a proto pro vzájemné porovnání nejsou důležité. Jediné emise z provozu mobilní techniky jsou ty, které vznikly během mechanických úprav povrchu skládky pro technologie skládkování.

Dalším úskalím je sběr dat, u kterých nelze ověřit jejich správnost nebo je složité získat relevantní informace. To platí především pro skládky odpadů, u nichž data o emisích pochází z jednoho roku provozní fáze. Po ukončení aktivního provozu (tzn. ukončení ukládání odpadů) však nastává období tzv. následné péče. Po 10 až 20 letech (závisí na objemu skládky, povaze odpadu, obsahu vody aj.) od uzavření skládky dochází k omezení tvorby skládkového plynu tak, že se nedá využívat, ale emise přetrvávají ještě další desetiletí (Ritzkowski & Stegmann, 2007). Nepříznivý vliv na prostředí mají úniky kontaminantů do okolní půdy a vody při poškození bariér (syntetická nebo minerální těsnění a drenáže, konstrukční prvky skládky) nebo při ztrátě jejich funkce kvůli krátké životnosti (Kuraš, 2011).

V práci není zahrnut ani jeden z těchto negativních efektů po uzavření skládky, ani možné úniky ještě během provozní fáze. Proto je nutné si uvědomit, že dopady obou technologií skládkování jsou ve skutečnosti ještě větší a vzájemné porovnání technologií je tím komplikováno. K potenciálním průsakům by mělo být přihlédnuto především u kategorií dopadu humánní toxicita a terestrická a sladkovodní ekotoxicita, kde se technologie spalování může chybně zdát jako nejškodlivější právě kvůli nedostatečným datům pro skládkování.

Podobně podhodnocené výsledky se týkají pravděpodobně i globálního oteplování. Lze předpokládat, že při započtení úniků emisí jak metanu, tak oxidu uhličitého, dojde k vzrůstu podílu skládkování na rozvoji klimatických změn, protože se jedná v obou případech o skleníkové plyny, přičemž methan má 23krát větší oteplovací potenciál než CO<sub>2</sub> (IPCC, 2003). Opět závisí na tom, jakým způsobem je řešena konstrukce skládky, např. volba pokryvu skládky a přítomnost biofiltrů (Park et al., 2009), jaká opatření jsou zavedena proti unikání skládkového plynu v období následné péče, apod.

Další záležitostí, se kterou se v charakterizačním profilu nepočítá, ale týká se všech tří technologií, je zábor půdy. Spalovny se podílí stavbou vlastního areálu a pouze zlomkovým objemem odpadu, na rozdíl od skládek, které zabírají značná území.

Po uvážení všech údajů vychází z porovnávaných technologií jako environmentálně nejšetrnější možnost spalování odpadu s využitím energie, až poté skládkování s využitím energie a jako největší zátěž pro životní prostředí je skládkování bez využití energie. První dvě také podporují myšlenku využívání lokálních zdrojů a decentralizace energetiky dodávkami elektrické energie do svého okolí.

Pokud ale budeme zkoumat vliv složení energetického mixu na výsledky studie, zjistíme, že v případě *skládky bez kogenerace* zhoršuje databázový český energetický mix dopady téměř všech kategorií, zatímco CEZ2010 pouze úbytek zdrojů, globální oteplování a vznik fotooxidantů. To je pravděpodobně tím, že je v mixu CZ velký podíl hnědého uhlí a jako jediný obsahuje databázová data pro výrobu energie z uhlí, a nemusí proto odpovídat skutečným poměrům v českých uhelných elektrárnách, které jsou v ostatních mixech obsaženy. Zřejmě z tohoto důvodu se liší od mixu CEZ2010 v dopadech acidifikace. Švédský energetický mix díky svému složení naopak výsledky pro tuto technologii vylepšuje. Ostatní mixy, tedy varianty budoucí české energetiky, nemají na výsledky podstatný vliv. Z toho vyplývá, že pouze velmi radikální změny energetického mixu se mohou v tomto případě projevit. Ať se vyplní jakákoliv z prognóz palivového mixu, dokud bude okolo 20 % elektrické energie vznikat z uhlí, výsledky LCA by neměly být ovlivněny.

Pro *energii produkující systémy nakládání s odpady* český energetický mix výsledky naopak vylepšuje, a to hlavně v dopadech acidifikace, globální klimatické změny a úbytku surovin. Produkovaná energie je modelována jako odvrácené emise, stejně jako bylo popsáno u acidifikace v 4.3.1.2. Paradoxně horší alternativa mixu znamená lepší výsledky dopadu. Lze to vysvětlit na příkladu kategorie dopadu globální oteplování. Porovnáme-li získaná čísla s výsledky skládky bez kogenerace, vyjdou pro všechny energetické mixy nižší hodnoty, protože produkcí energie dochází k šetření fosilních paliv, a tím i ke snížení produkce CO<sub>2</sub>-ekv. Zároveň, čím menší je podíl fosilních zdrojů v energetickém mixu, tím menší emise jsou odečteny a větší hodnota zůstává, viz energetický mix Švédska. Při jeho použití jsou dopady skládkování a spalování s využitím energie relativně největší, protože se skládá převážně z jaderné a vodní energie. Ty jsou ke klimatu šetrnější než energie z fosilních zdrojů, proto odvrácené emise nejsou tak vysoké (viz tab. 11). I Wittmaier et al. (2009) ve své práci uvádí, že jimi vypočtené úspory skleníkových plynů jsou relativně vyšší kvůli použití tamního energetického mixu s vyšším podílem uhlí.

Stejným principem lze vysvětlit i zápornou hodnotu mixu CZ u acidifikace, kvůli které můžeme mix označit jako největšího přispěvatele acidifikace a nejnáročnější je i na spotřebu zdrojů, díky čemuž vykazuje nejvyšší úspory.

Rozdíly mezi porovnávanými technologiemi jsou však natolik vysoké, že jejich pořadí od nejlepší po nejhorší zůstává stejné pro všechny mixy. Stejně jako zjistili Fruergaard & Astrup (2011), kteří ve své studii předpokládali dokonce přechod na 100 % energie z obnovitelných zdrojů, i mé výsledky dokazují, že celkové hodnocení technologií pro nakládání s odpady budou relevantní i pro budoucí energetické mixy a platnost studie nebude ovlivněna.



## 5. Závěr

Obyvatelé České republiky vyprodukují v porovnání s ostatními Evropany malé množství SKO. Ten je z většiny ukládán na skládkách odpadu, z části je spalován a zbytek je recyklován či kompostován. Pomocí metody LCA byly porovnány 3 technologie nakládání s odpady, skládkování bez využití energie a skládkování a spalování s využitím energie. Ačkoliv charakterizační profil neukázal žádnou technologii jako jednoznačně nejšetrnější k životnímu prostředí, nejškodlivější vlivy byly zjištěny pro skládkování bez kogenerace. Po zvážení dalších skutečností souvisejících se skládkami odpadů se jako nejpříjemnější možnost z hlediska životního prostředí ukázalo energetické využití odpadu přímým spalováním.

Hlavní náplní práce bylo posoudit energetický mix ČR pro výrobu elektrické energie a vliv jeho složení na výše zmíněné výsledky. Bylo zjištěno, že aktuální český mix, skládající se z převahy uhlí, doplněný jadernou energií a malým podílem OZE, zhoršuje environmentální dopady produktů spotřebovávajících energii. Na druhou stranu technologie produkující energii byly použitím českého mixu zvýhodněny díky odvracení emisí. Tyto efekty byly potvrzeny porovnáním s energetickým mixem Švédska. Vstupem „čistě elektřiny z vody a jádra“ byly nižší dopady u skládek bez kogenerace, zatímco u dalších 2 technologií byly vyšší než u české verze.

Při použití možných budoucích mixů se sníženým podílem uhelné energie došlo k mírným změnám v profilu LCIA, poukazujícím na šetrnější výrobu energie. Jejich vzájemné rozdíly ale byly minimální nebo mezi nimi rozdíly nebyly vůbec.

Složení energetického mixu tedy vliv na výsledky LCA má, o to větší, čím radikálnější změna složení nastane. Žádná z těchto změn však nemá tak zásadní vliv, aby byly narušeny celkové výstupy nebo platnost studie.

Pro větší spolehlivost závěrů by byl příhodný podrobnější sběr dat pro technologie skládkování, především rozšířený o emise v průběhu následné péče. Ke stejnému závěru došli i Kočí & Trecáková (2011).

V této práci figurovaly konkrétní provozovny a získaná data platí právě pro ně, zatímco u jiných zařízení, ač se stejnou technologií, mohou být více či méně rozdílná. Navzdory tomu, že se výsledky pro jednotlivá zařízení řádově liší, bylo by vhodné ověřit jejich správnost zahrnutím více než jednoho objektu od každé technologie.

## 6. Zdroje

- Akella A. K., Saini R. P., Sharma M. P., 2009** : Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy* 34, 390-396.
- Blumenthal K., 2011** : Generation and treatment of municipal waste. *Statistics in focus* 31, Eurostat.
- Caspersen N.I., Sørensen A., 1998** : Improvements of products by means of lifecycle assessment: high pressure cleaners. *Journal of Cleaner Production* 6, 371-380.
- Cleary J., 2009** : Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environment International* 35, 1256-1266.
- ČEZ, 2012a** : Dostavba elektrárny Temelín. Online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin.html>, cit. 2.8.2012.
- ČEZ, 2012b**: Informace o celkové směsi paliv dodavatele za rok 2010. Online: <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/informace-dle-energetickeho-zakona-c458-2000-sb/2010/celkove-smesi-dodavatele-paliv.html>, cit. 2.8.2012.
- ČEZ, 2012c** : Informace o větrné energetice. Online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/informace-o-vetrne-energetice.html>, cit. 2.8.2012.
- ČSÚ, 2010** : Statistická ročenka ČR, oddíl 16: Energetika. Online: <http://www.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/kapitola/0001-10--1600>, cit. 2.8.2012.
- ČSÚ, 2011a** : Produkce, využití a odstranění odpadů. Online: [http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/t/1F0032E180/\\$File/Publ\\_2001-11\\_def.pdf](http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/t/1F0032E180/$File/Publ_2001-11_def.pdf), cit. 2.8.2012.
- ČSÚ, 2011b** : Transformační procesy v energetice v roce 2010. Online: <http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/tab/0D00325742>, cit. 2.8.2012.
- ČSÚ, 2012** : Energetická bilance 2010. Online: <http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/p/8106-12>, cit. 2.8.2012.
- Eurostat, 2012** : Electricity generated from renewable sources. Online: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsien050&plugin=1>, cit. 2.8.2012.
- Foidart F., Oliver-Solá J., Gasol C.M., Gabarrell X., Rieradevall J., 2010** : How important are current energy mix choices on future sustainability? Case study: Belgium and Spain-projections towards 2020-2030. *Energy Policy* 38, 5028-5037.
- Fruergaard T., Astrup T., 2011** : Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management* 31, 572-582.
- International Organization for Standardization, 2006**. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework ISO 14040:2006(en). Online: <http://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>, cit. 2.8.2012.

- IPCC, 2003** : Third Assessment Report. *Online:* [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/), cit. 2.8.2012.
- Jeswani H. K., Azapagic A., Schepelmann P., Ritthoff M., 2010** : Options for broadening and deepening the LCA approaches. *Journal of Cleaner Production* 18, 120-127.
- Kočí V., 2010** : Metoda posuzování životního cyklu a chemický průmysl. *Chemické listy* 104, 921-925.
- Kočí V., Trecáková T., 2011** : Mixed municipal waste management in the Czech Republic from the point of view of the LCA method. *International Journal of Life Cycle Assessment* 16, 113-124.
- Kuraš M., 2011** : Optimalizace následné péče o skládky odpadů. *Odpadové fórum* 2, 22-23.
- Market observatory for energy, 2010** : Europe's energy position– markets & supply. European Commission Report 2009. *Online:* [http://ec.europa.eu/energy/observatory/annual\\_reports/doc/2009\\_annual\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/energy/observatory/annual_reports/doc/2009_annual_report.pdf), cit. 24.2.2012.
- MPO, 2009** : Aktualizace Státní energetické koncepce České republiky. *Online:* <http://www.mpo.cz/kalendar/download/71707/priloha002.pdf>, cit. 9.1.2012.
- MPO, 2012** : Aktualizace Státní energetické koncepce České republiky. *Online:* <http://download.mpo.cz/get/46568/52524/591180/priloha003.pdf>, cit. 2.8.2012.
- MŽP, 2012a** : Malé vodní elektrárny. *Online:* [http://www.mzp.cz/cz/male\\_vodni\\_elektrarny](http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny), cit. 2.8.2012.
- MŽP, 2012b** : Politika ochrany klimatu v České republice – návrh Ministerstva životního prostředí ČR. *Online:* [www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news.../POK\\_final.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news.../POK_final.pdf), cit. 2.8.2012.
- Park S., Brown K.W., Thomas J.C., Lee I., Sung K., 2009** : Comparison study of methane emissions from landfills with different landfill covers. *Environmental Earth Science* 60, 933-941.
- Pehnt M., 2006** : Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy* 31, 55-71.
- Polanecký K., Mikeska M., Sedlák M., Kotecký V., Sequens E., Sutlovičová K., Jeřábek J., Hollan J., 2010** : Chytrá energie. *Online:* <http://www.chytraenergie.info/>, cit. 24.2.2012.
- Ritzkowski M., Stegmann R., 2007** : Controlling greenhouse gas emissions through landfill in situ aeration. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 1, 281-288.
- Santoyo-Castelazo E., Gujba H., Azapagic A., 2011** : Life cycle assessment of electricity generation in Mexico. *Energy* 36, 1488-1499.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/280ES**. Úřední věstník EU, 2009. *Online:* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:CS:PDF>, cit. 2.8.2012.

**Udo de Haes H.A., Heijungs R., 2007** : Life-cycle assessment for energy analysis and management. *Applied Energy* 84, 817-827.

**Windpower, 2012** : Wind energy data for Czech Republic. *Online:* [http://www.thewindpower.net/country\\_en\\_46\\_czech-republic.php](http://www.thewindpower.net/country_en_46_czech-republic.php), cit. 2.8.2012.

**Wittmaier M., Langer S., Sawilla B., 2009** : Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management* 29, 1732-1738.

**Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie za rok 2010.** Ministerstvo průmyslu a obchodu, Ministerstvo životního prostředí, Energetický regulační úřad. Praha 2011.